

УДК 629.436

ПОЛІПШЕННЯ ПОКАЗНИКІВ КОЛІСНОГО ТРАКТОРА ПІД ЧАС РОБОТИ ДВИГУНА НА СТИСНУТОМУ ПРИРОДНОМУ ГАЗІ

О.В. Захарчук, доц., к.т.н., М.І. Захарчук, асп.,
Луцький національний технічний університет

Анотація. Наведено результати теоретичних досліджень показників колісного трактора із двигуном, який працює на стиснутому природному газі, в режимах транспортного процесу. Обрано раціональні параметри керування трансмісією та двигуном під час розгону трактора і швидкості сталого руху в експлуатаційних умовах.

Ключові слова: колісний трактор, газовий двигун, транспортний процес, параметри керування.

УЛУЧШЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОЛЕСНОГО ТРАКТОРА ПРИ РАБОТЕ ДВИГАТЕЛЯ НА СЖАТОМ ПРИРОДНОМ ГАЗЕ

О.В. Захарчук, доц., к.т.н., М.И. Захарчук, асп.,
Луцкий национальный технический университет

Аннотация. Приведены результаты теоретических исследований показателей колесного трактора с двигателем, который работает на сжатом природном газе, в режимах транспортного процесса. Выбраны рациональные параметры управления трансмиссией и двигателем во время разгона трактора и скорости устойчивого движения в эксплуатационных условиях.

Ключевые слова: колесный трактор, газовый двигатель, транспортный процесс, параметры управления.

IMPROVEMENT OF WHEELED TRACTOR INDEXES WITH THE ENGINE OPERATING ON COMPRESSED NATURAL GAS

O. Zakharchuk, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.), M. Zakharchuk, P. G.,
Lutsk National Technical University, Lutsk

Abstract. Research of the performance of the wheeled tractor diesel engine converted into a gas engine with spark ignition, which is supposed to improve the fuel economy and ecological indexes by the choice of expedient values of parameters of the conducting transmission and engine, is carried out. The rational values of parameters of the conducting transmission and gas engine are chosen and grounded at the acceleration of the wheeled tractor and rates of a withstand movement in operating terms after the criteria of minimum specific charges of fuel and harmful emissions.

Key words: wheeled tractor, gas engine, transport process steering, parameters, gas consumption, harmful emissions.

Вступ

Інтенсивне збільшення ціни на традиційні палива за останні роки і пов'язане з цим збільшення собівартості сільськогосподарської продукції визначили актуальність досліджень використання альтернативних палив.

Крім того, сьогодні стоїть проблема поліпшення екологічних показників дизелів. Одним з дійових шляхів зменшення витрат на дизельне паливо та зниження викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами дизелів є використання стиснутого природного газу (СПГ).

Аналіз публікацій

Як показали попередні наукові дослідження [1–3], одним з найкращих способів поліпшення екологічних показників колісних тракторів та економії витрат на дизельному паливі є їх конвертація для роботи на СПГ. Конвертуванням дизелів у газові двигуни займаються в США, Німеччині, Італії, Франції, Японії, Україні та інших країнах світу [3–7].

Встановлено режими роботи колісних тракторів в експлуатаційних умовах і визначено, що приблизно 40–45 % обсягу всіх робіт, які виконують колісні трактори, становлять транспортні роботи [8]. Під час виконання вказаних даних робіт двигуни працюють у більшості випадків на неусталених режимах, в яких суттєвий вплив на витрату палива та екологічність справляють параметри керування трансмісією та двигуном [9].

Аналіз результатів досліджень автомобілів та інших транспортних засобів з газовими двигунами, конвертованими з дизелів, показав, що вплив параметрів керування трансмісією та двигуном на показники таких машин у транспортному процесі не досліджувався. Тому дослідження параметрів керування трансмісією та двигуном колісного трактора, який працює на СПГ, є актуальним завданням.

Мета і постановка завдання

Метою роботи є поліпшення паливної економичності та зменшення шкідливих викидів колісного трактора із двигуном, який працює на СПГ, під час експлуатації у транспортних режимах шляхом встановлення раціональних параметрів керування трансмісією та двигуном.

Матеріали досліджень

Вибір раціональних параметрів керування трансмісією та двигуном, який працює на СПГ, під час розгону колісного трактора та вибір раціональних швидкостей сталого руху здійснювалися шляхом моделювання на математичній моделі руху трактора із причепом за їздовим циклом «розгін–рух з усталеною швидкістю–сповільнення» [9]. Вказаний цикл відповідає роботі трактора у транспортному процесі. Уточнена математична модель руху колісного трактора із двигуном, який працює на СПГ, в їздовому циклі імітує ек-

сплуатаційні умови роботи та дозволяє досліджувати паливну економичність та екологічні показники залежно від зміни параметрів керування трансмісією та двигуном.

Структурна схема системи керування трансмісією та двигуном, який працює на СПГ, колісного трактора показана на рис. 1.

Основою структурної схеми є рівень 1 – «Управління трансмісією та двигуном колісного трактора», який характеризується такими параметрами: вибором оператором передавального числа u_i коробки передач під час розгону, частотою обертання $n_{\text{дк}}$ колінчастого вала, за якої відбувається перемикавання на вищу передачу під час розгону, кутом $\varphi_{\text{др}}$ та швидкістю відкриття $V_{\text{др}}$ заслінок газоповітряного змішувача.

Ці параметри визначають режими роботи двигуна, який працює на СПГ, ефективну потужність двигуна N_e , частоту обертання колінчастого вала n_d , розрідження у впускному трубопроводі Δp_k , момент інерції двигуна J_d , годинну витрату СПГ $G_{\text{газ}}$ та повітря $G_{\text{пов}}$, а також концентрації шкідливих речовин у відпрацьованих газах.

Крутний момент M_k від двигуна передається через трансмісію, якій властиві такі значення: передавальне число u_i коробки передач, u_0 головної передачі, u_k колісної передачі та коефіцієнт корисної дії трансмісії η_t . Від трансмісії крутний момент передається на ходову частину трактора, яка характеризується радіусом ведучого колеса $r_{\text{кз}}$, динамічним радіусом кочення ведучого колеса $r_{\text{дз}}$, моментами інерції передніх та задніх коліс трактора $J_{\text{кп}}$, $J_{\text{кз}}$, коефіцієнтам, які враховують обертові маси трактора δ та причепа та δ_1 . Співвідношення крутного моменту двигуна і сил опору руху визначає швидкість руху колісного трактора $V_{\text{тр}}$ та прискорення $dV_{\text{тр}}/dt$.

Підсистема 2-го рівня характеризує навколишнє середовище атмосферним тиском p_0 , температурою повітря T_0 та відносною вологістю φ_0 , а дорогу – коефіцієнтом опору руху f_0 та повздовжнім ухилом i . Підсистема «колісний трактор і причіп» описується масою трактора m_0 , фактором опору повітря kF ,

масою причепа $m_{пр}$, масою вантажу m_v та моментом інерції коліс причепа $J_{кпр}$ [10].

Перевірка адекватності математичної моделі проводилась шляхом порівняння розрахун-

кових швидкостей трактора з даними експериментальних досліджень, отриманими при реалізації їздового циклу на колісному тракторі, та порівняння витрат СПГ [11].

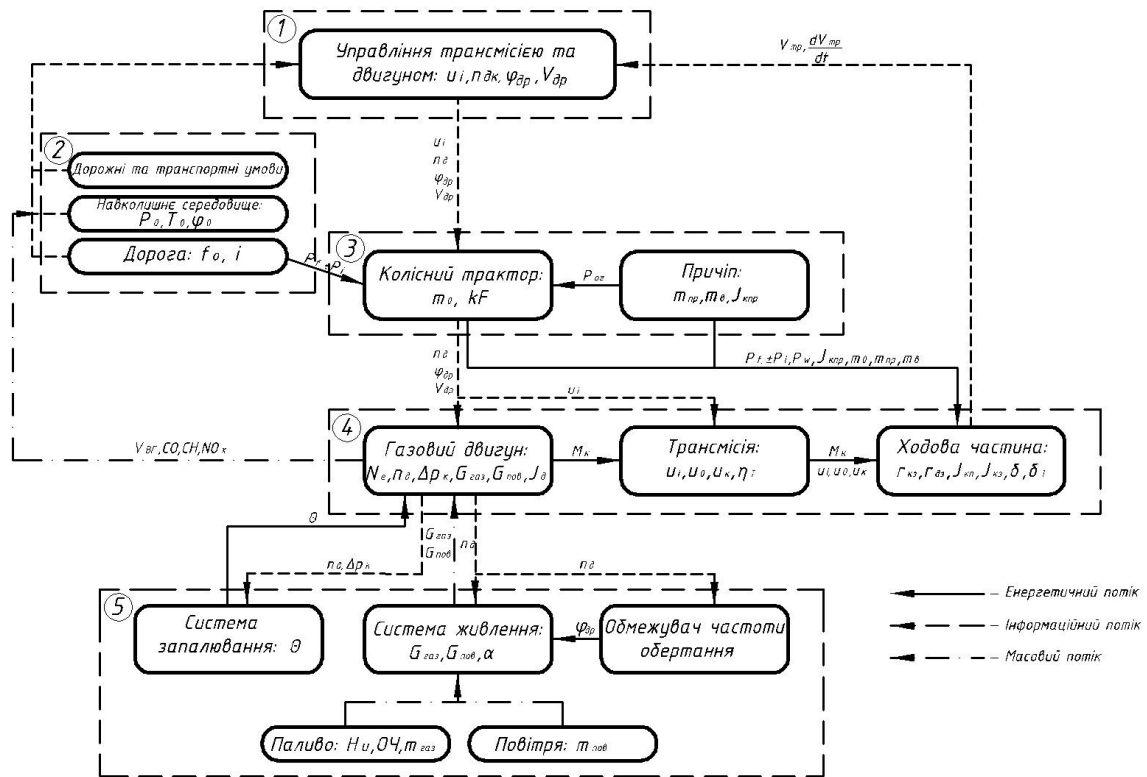


Рис. 1. Структурна схема системи управління трансмісією та двигуном колісного трактора

Дорожні випробування трактора МТЗ-80, під час роботи двигуна на СПГ, із причепом 2ПТС-4, який перевозив вантаж, проводились за прийнятним їздовим циклом. Маса вантажу складала 4000 кг. Тракторний дизель було переобладнано в газовий двигун для роботи на СПГ.

Під час дорожніх випробувань визначались витрата СПГ, швидкість і час руху колісного трактора в циклі та відстань, на якій проводились дослідження руху [10].

Теоретичні дослідження показників колісного трактора із двигуном, який працює на СПГ, проводились згідно з алгоритмом встановлення раціональних параметрів управління трансмісією та двигуном трактора (рис. 2).

Алгоритм дозволяє встановлювати раціональну послідовність перемикавання передач, залежно від експлуатаційних умов, за критерієм мінімальної витрати СПГ та раціональну частоту обертання колінчастого вала,

за якої відбувається перемикавання передач, раціональні параметри управління газоповітряним змішувачем (кут і швидкість відкриття дросельних заслінок) за критерієм мінімальних викидів шкідливих речовин та визначати раціональні швидкості сталого руху колісного трактора залежно від коефіцієнта опору руху. Початковою стадією дослідження було встановлення раціональної послідовності перемикавання передач у процесі розгону колісного трактора, використовуючи максимальні значення параметрів управління двигуном. Вибір послідовності перемикавання передач здійснювався за критерієм мінімальної витрати СПГ. Проводилось моделювання розгону колісного трактора з різними варіантами перемикавання передач і визначався такий порядок, за якого спостерігається найнижча витрата СПГ. Рух колісного трактора імітувався за коефіцієнта опору руху $f_0 = 0,016$, який відповідає сухій дорозі з твердим покриттям, та при $f_0 = 0,03$, який відповідає сухій ґрунтовій дорозі.

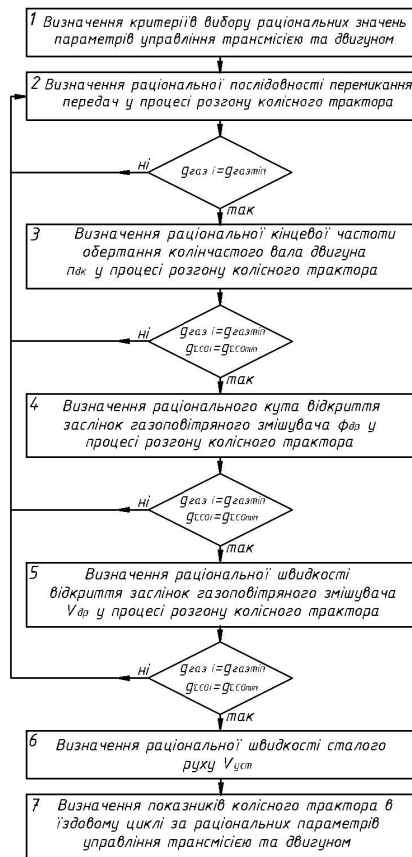


Рис. 2. Алгоритм встановлення раціональних параметрів управління трансмісією та двигуном колісного трактора

Таблиця 1 Витрата СПГ колісним трактором при $f_0 = 0,016$

Показники трактора	Послідовність перемикання передач							
	4-5-9	4-6-9	5-6-9	5-7-9	5-8-9	6-7-9	7-8-9	6-8-9
$g_{\text{газ}}$, г/км	520,5	527,4	518,1	530,6	535,5	528,2	518,8	515,1
t_p , с	224,6	218,1	214,7	217,5	207,4	201,9	215,3	196,1

Таблиця 2 Витрата СПГ колісним трактором при $f_0 = 0,03$

Показники трактора	Послідовність перемикання передач						
	4-5-8	4-6-8	4-7-8	5-6-8	5-7-8	6-7-8	
$g_{\text{газ}}$, г/км	645,1	658,7	686	684,3	707,2	638,3	
t_p , с	327	333,6	341,3	329,2	337,1	320,1	

При виборі використовувалась раціональна послідовність перемикання передач та раціональні параметри управління двигуном, який працює на СПГ. Останнім стало визначення раціональних швидкостей сталого руху на відповідних ділянках їздового циклу залежно від коефіцієнта опору руху, враховуючи доцільні параметри управління трансмісією та двигуном [10].

В табл. 1 наведено величини витрати СПГ під час розгону колісного трактора та часу розгону в разі різної послідовності перемикання передач при $f_0 = 0,016$. Мінімальна витрата СПГ спостерігається під час перемикання передач за послідовністю 6-8-9.

У табл. 2 наведено величини витрати СПГ під час розгону колісного трактора та часу розгону в разі різної послідовності перемикання передач при $f_0 = 0,03$. Мінімальна витрата СПГ спостерігається при перемиканні передач за послідовністю 6-7-8.

Наступною стадією дослідження було встановлення раціональних параметрів управління двигуном (частота обертання колінчастого вала n_{dk} в момент перемикання передач, кут відкриття заслінок газоповітряного змішувача $\varphi_{др}$ на кожній передачі та швидкість відкриття заслінок газоповітряного змішувача $V_{др}$), з урахуванням раціональних параметрів управління, які були визначені на попередніх стадіях дослідження. Вибір параметрів управління здійснювався за критерієм мінімальної витрати СПГ та мінімальних викидів шкідливих речовин.

Результати досліджень

За допомогою математичної моделі встановлено раціональну послідовність перемикання передач під час розгону колісного трактора. Обрано раціональні параметри управління двигуном, який працює на СПГ, під час розгону трактора. Визначено, що для отримання мінімальних викидів шкідливих речовин

рекомендується дотримуватись максимальної частоти обертання колінчастого вала, за якої відбувається перемикання передач, в діапазоні 1400–1500 хв⁻¹; кут відкриття заслінок газоповітряного змішувача в діапазоні 50–60 % (рис. 3) за швидкості відкриття заслінок, не більше 75 %/с.

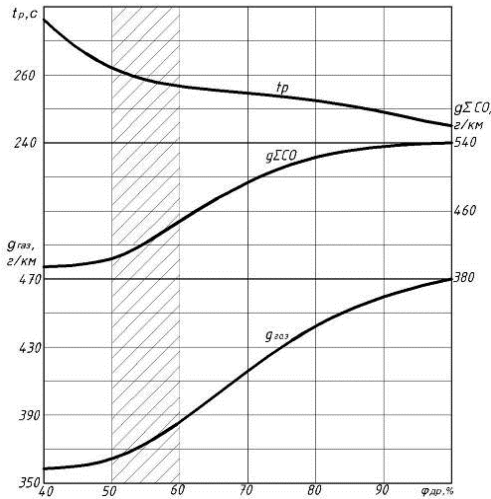


Рис. 3. Показники колісного трактора за різних кутів відкриття заслінок газоповітряного змішувача

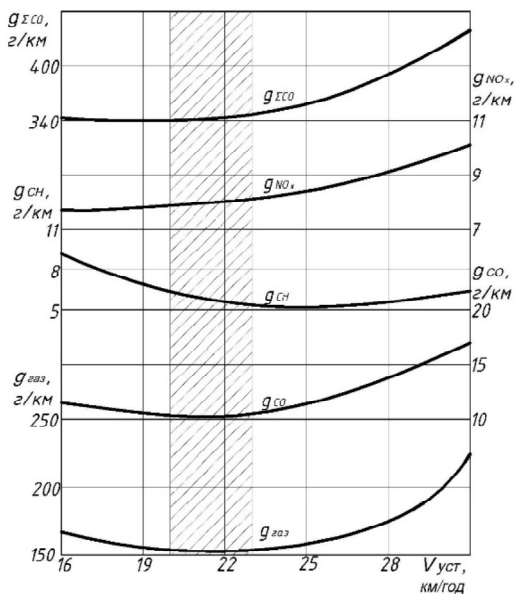


Рис. 4. Залежності витрати СПГ та викидів шкідливих речовин від швидкості сталого руху трактора за коефіцієнта опору $f_0 = 0,016$

Визначено раціональні швидкості сталого руху колісного трактора в їздовому циклі залежно від коефіцієнта опору руху. Ре-

алізуючи їздовий цикл зі сталою швидкістю 20–23 км/год (рис. 4) на сухій дорозі з твердим покриттям зі швидкістю 11–13 км/год на сухій ґрунтовій дорозі, можна отримати мінімальні витрати СПГ та мінімальні викиди шкідливих речовин [10].

Висновки

Використовуючи уточнену математичну модель руху колісного трактора у транспортному процесі, встановлено раціональні значення параметрів управління двигуном у режимах розгону та раціональні швидкості сталого руху трактора за критеріями мінімальних витрат СПГ та шкідливих викидів.

З використанням рекомендацій щодо раціональної послідовності перемикання передач досягається зниження витрати СПГ на 3,9–9,8 %. Досягаючи кінцевої частоти обертання колінчастого вала на кожній з передач, маємо зниження витрати СПГ на 10–15 % та зниження шкідливих викидів на 8–10 %. За раціонального кута відкриття заслінок газоповітряного змішувача витрата СПГ зменшується на 20–22 % та на 21–24 % зменшуються шкідливі викиди. Рухаючись раціональними сталими швидкостями, витрата СПГ зменшується на 24–28 % та на 19–21 % – шкідливі викиди.

Література

1. Лютко В. Применение альтернативных топлив в ДВС / В. Лютко, В.Н. Луканин, А.С. Хачиян. – М.: МАДИ (ТУ), 2000. – 331 с.
2. Гайворонский А.И. Использование природного газа и других альтернативных топлив в дизельных двигателях / А.И. Гайворонский, В.А. Марков, Ю.В. Илатовский. – М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2007. – 480 с.
3. Матейчик В.П. Методи оцінювання та способи підвищення екологічної безпеки дорожніх транспортних засобів: монографія / В.П. Матейчик. – К.: НТУ, 2006. – 216 с.
4. Hamling P. «Down Under» success with natural gas buses / P. Hamling // NGV Worldwide. – 2002. – P. 11.
5. Nylund N.O. Pathways For Natural Gas Into Advanced Vehicles / N.O. Nylund, J. Laurikko, M. Ikonen. – Brussel: IANGV. – 2002. – 105 p.

6. Mori K. *Worldwide Trends in Heavy-Duty Diesel Engine Exhaust Legislation and Compliance Technologies* / K. Mori. – Warrendale, USA: SAE international, 2001. – 46 p.
7. Газовые двигатели // Журнал «Автомаястерня». – 2006. – № 12. – С. 30–32.
8. Білоконь Я.Ю. Трактори і автомобілі / Я.Ю. Білоконь, А.І. Окоча. – К.: Урожай, 2002. – 324 с.
9. Гутаревич Ю.Ф. Снижение вредных выбросов автомобиля в эксплуатационных условиях / Ю.Ф. Гутаревич. – К.: Выща шк., 1991. – 180 с.
10. Захарчук О.В. Покращення експлуатаційних показників колісного трактора з переобладнанням з дизеля газовим двигуном: дис. ... кандидата техн. наук: 05.22.20 / Захарчук Олег Вікторович. – К., 2013. – 199 с.
11. Матейчик В.П. Перевірка адекватності математичної моделі руху колісного трактора з газовим двигуном у їздовому циклі / В.П. Матейчик, В.В. Яновський, О.В. Захарчук // Наукові нотатки: міжвузівський збірник за напрямом «Інженерна механіка». – 2012. – Вип. 36. – С. 200–203.
- road vehicles: a monograph]. Kiev, NTU Publ., 2006. 216 p.
4. Hamling P. «Down Under» success with natural gas buses. NGV Worldwide, 2002, 11 p.
5. Nylund N.O., Laurikko J., Ikonen M. *Pathways For Natural Gas Into Advanced Vehicles*. Brussel: IANGV, 2002, 105 p.
6. Mori K. *Worldwide Trends in Heavy-Duty Diesel Engine Exhaust Legislation and Compliance Technologies*. Warrendale, USA: SAE international, 2001. 46 p.
7. Gazovie dvigateli [Gas engines]. *Avtomaysternia*, 2006, vol. 12, pp. 30–32.
8. Bilokon' Ya.Yu., Okocha A.I. *Traktory' i avtomobili* [Tractors and cars]. Kiev, Urozhaj Publ., 2002, 324 p.
9. Gutarevich Yu.F. *Snigienie vrednyh vybrosov avtomobil'ia v ekspluatacionnyh uslovi'ah* [The reduction of harmful emissions of the vehicle operating conditions]. Kiev, Vyshcha shkcola Publ., 1991, 180 p.
10. Zakharchuk O.V. *Pokrashchennia ekspluatatsiinykh pokaznykiv kolisnoho traktora z pereobladnanyim z dyzelia hazovym dvyhunom* [Improvement of operating indexes of the wheeled tractor with the gas engine reconstruction from a diesel]: dys. ... kandydata tekhn. nauk: 05.22.20 / Zaharchuk Oleg Viktorovych. Kiev, 2013, 199 p.

References

1. Lotko V., Lukanyan V.N., Nachyuan A.S. *Primenenie al'ternativnyh topliv v DVS* [The use of alternative fuels in internal combustion engines]. Moscow, MADY (TU) Publ., 2000. 331 p.
2. Gajvoronskij A.I., Markov V.A., Ylatovskyy Y.V. *Ispol'zovanie prirodnoho gaza i drugih al'ternativnyh topliv v dizel'nyh dvigateljah* [The use of natural gas and other alternative fuels in diesel engines]. Moscow, IRC Gazprom Publ., 2007. 480 p.
3. Mateychyk V.P. *Metody otsinyuvannya ta sposoby pidvyshchennya ekolohichnoyi bezpeky dorozhnikh transportnykh zasobiv: monohrafiya* [Evaluation methods and ways of increase of ecological safety of
11. Mateychyk V.P., Yanovskiy V.V., Zaharchuk O.V. *Perevirka adekvatnosti matematy'chnoyi modeli ryxy kolisnogo traktora z gazovy'm dvy'gunom y yizdovomu cy'kli* [Checking adequacy of mathematical model of motion of the wheeled tractor with a gas engine to mount the cycle]. *Naukovi notatky: mizhvuziv's'kiy zbirnik za napryatom «Inzhenerna mekhanika»*, 2012, vol. 36, pp. 200–203.

Рецензент: В.П. Волков, професор, д.т.н., ХНАДУ.